昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*, April 2006, 49(2): 295 - 301 ISSN 0454-6296

低剂量农药作用下拟环纹豹蛛对褐飞虱的功能反应及搜寻行为

王 智[1,2], 宋大祥[1*], 朱明生[1]

(1.河北大学生命科学学院, 河北保定 071002; 2.湖南文理学院生命科学系, 湖南常德 415000)

摘要: 在室内研究了低剂量农药作用下拟环纹豹蛛对褐飞虱的功能反应及搜寻行为。结果表明, 拟环纹豹蛛对褐飞虱的功能反应均符合 Holling Ⅱ模型, 且在最适的低剂量农药($V_{药}:V_{水}$ 为 2:5 000 甲胺磷, 12:5 000 杀虫双和 1:20 烯丙菊酯)刺激下, 蜘蛛捕食褐飞虱的数量是最多的, 蜘蛛用于对 1 头褐飞虱进行制服和取食等活动所需的时间(处理猎物时间, Th)短, 仅分别为未经农药处理的蜘蛛所需时间的 0.45、0.32 和 0.35 倍; 而施用较高剂量 8:5 000 的甲胺磷、28:5 000 的杀虫双和 6:20 的烯丙菊酯的蜘蛛, 处理猎物时间长得多, 依次是经最适低剂量 3 种农药作用的蜘蛛所用时间的 9.70、13.60 和 13.62 倍。拟环纹豹蛛在稻株上的搜寻行为属非随机搜索型, 在相同的低剂量农药作用下, 蜘蛛的搜寻效应随飞虱密度的增加而下降; 但在相同的猎物密度下, 蜘蛛的搜寻效应与使用的农药浓度有密切的关系, 在上述最适低剂量农药作用下, 豹蛛对猎物的寻找效应最佳, 其在稻株上的总滞留时间依次是未施药情形的 1.56、1.49、1.48 倍, 总搜寻距离依次是未施药情形的 1.36、1.42、1.39 倍。据此, 进一步证实了低剂量农药增强了稻田蜘蛛的控虫效能和对害虫的相对活力。

关键词: 拟环纹豹蛛; 褐飞虱; 低剂量农药; 功能反应; 搜寻行为

中图分类号: Q968 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2006)02-0295-07

Functional response and searching behavior to the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* by the wolf spider, *Pardosa pseudoannulata* under low-dose chemical pesticides

WANG Zhi[1,2], SONG Da-Xiang[1*], ZHU Ming-Sheng[1] (1. College of Life Sciences, Hebei University, Baoding, Hebei 071002, China; 2. Department of Biology, Hunan University of Arts and Sciences, Changde, Hunan 415000, China)

Abstract: The functional response and searching behavior to the brown planthopper (BPH), *Nilaparvata lugens* by its predator, the wolf spider *Pardosa pseudoannulata* treated with the fittest low-dose concentration of 3 chemical pesticides were studied in the laboratory. The results showed that the predating number of the predator to the prey was significantly higher under the fittest low-dose pesticides (volume ratio of pesticide to water is 2:5 000 for methamidophos, 12:5 000 dimehypo, and 1:20 *d*-allethrin, respectively) than those without treatment of pesticide or treated by high-dose pesticides. Although all predating functional responses were in accordance with the Holling Ⅱ model, the functional response of the spiders treated by low-dose chemical pesticides was obviously stronger than those without treatment of pesticide or treated by high-dose pesticides. The time spent in handling and/or killing a brown planthopper (T_h) by the spiders treated by the fittest low-dose pesticides were 0.45, 0.32 and 0.35 times, respectively, less than that by the spiders without treatment of pesticide. The time consumed by the spiders treated under the high-dose pesticides (volume ratio of pesticide to water is 8:5 000 for methamidophos, 28:5 000 dimehypo, and 6:20 *d*-allethrin, respectively) were 9.70, 13.60 and 13.62 times, respectively, as much as that by the spiders treated under the fittest low-

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30300041)

作者简介: 王智, 男, 博士, 副教授, 主要从事生态学和有害生物的生态调控研究, E-mail: wangzspider@sina.com; Tel.: 13087361755

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: dxsong@mail.hbu.edu.cn

收稿日期 Received: 2005-07-25; 接受日期 Accepted: 2005-12-12

dose pesticides. The searching pattern of the spiders to BPH over rice plant was non-random. The searching efficiency decreased with the increase of prey density under the same chemical pesticide concentration. In the same BPH density, the searching efficiency of the predator varied more under different concentrations of pesticide. Under the influence of the fittest low-dose pesticides, the searching efficiency of the predator was the highest, and the total staying time and searching distance of the spiders were 1.56, 1.49, 1.48 times and 1.36, 1.42, 1.39 times as much as those under no pesticides, respectively. The results further proved that application of low-dose chemical pesticides might enhance spiders' efficiency of controlling pests and their relative activities to insect pests.

Key words: *Pardosa pseudoannulata*; *Nilaparvata lugens*; low-dose pesticide; functional responses; searching behavior

保护天敌,设法增强天敌的自然控虫作用及合理地使用杀虫剂是农田害虫综合治理的关键(Wright and Verkert, 1995;王智等,2002)。近年来,杀虫剂田间使用对天敌副作用的评价成为研究热点,如导致天敌死亡(Croft and Brown, 1975;胡自强等,2000),影响其行为和捕食(Hull and Starner, 1983;李国生等,2000;徐建祥等,2000;姜永厚等,2002),减少天敌繁殖率(Croft and Brown, 1975),抑制天敌的生长发育(李国生等,2000),杀伤猎物减少其食物源(Tabashnik and Croft, 1982),影响天敌种群数量及群落结构(Sherratt 1993;Cohen *et al*., 1994;Baveco and Deroos, 1996)。此外,也有学者研究了农药的亚致死剂量对天敌作用的影响(朱福兴等,1998),但低剂量农药对天敌控虫作用的影响报道甚少,目前仅见有关低剂量农药对稻田蜘蛛控虫力的影响方面有过初步探讨(王智等,2002),为此,我们以褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 作为稻田害虫的代表,以常用农药甲胺磷、杀虫双和烯丙菊酯作为农药代表,以稻田蜘蛛优势种拟环纹豹蛛 *Pardosa pseudoannulata* 作为稻田蜘蛛代表,利用3种农药的各个不同低剂量浓度药液对蜘蛛和飞虱进行多个处理,比较研究它对猎物的捕食作用及其对害虫的搜寻行为的差异,以便揭示低剂量农药增强稻田蜘蛛控虫效能的机理,为害虫的综合治理提供新的有意义的信息,为指导合理用药协调化学防治和生物防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

分蘖期盆栽稻苗,来自室内栽培,无任何虫卵,褐飞虱成虫(从综合防治实验田中采集),栽种水稻用的塑料桶(Φ 25 cm),圆形尼龙窗纱网罩(Φ 26 cm × 1 m)。

1.2 低剂量农药的配制

试验用的化学农药为:18%杀虫双水剂(常州市丰登农药厂生产)、50%甲胺磷乳油(湖南南天实业股份有限公司生产)及0.03%的烯丙菊酯(湖南农业大学生物安全科技学院提供的原药配制)。18%杀虫双水剂和50%甲胺磷乳油的大田常用剂量分别为250~300 mL/666.7 m^2 和18~25 mL/666.7 m^2。本试验中所选用的杀虫双、甲胺磷和烯丙菊酯的系列低剂量浓度的配比($V_{药液}:V_{水}$)分别为:28:5 000,14:5 000,12:5 000,10:5 000,8:5 000;8:5 000,6:5 000,4:5 000,2:5 000;6:20,4:20,2:20,1:20 海100丛禾的喷药量约为40 mL,采用浙江省玉环县楚门喷雾器厂生产的MC-D2型微型喷雾器喷雾。

1.3 功能反应

塑料桶内栽1丛禾,去其基部黄叶,保持6根苗,其基部灌水1~2 cm,用60目尼龙窗纱网罩罩上,下面用橡皮筋扎紧,网罩上装上0.8 m长的拉链以便观察,这样的构造称一个笼箱。在13组笼箱内(共78个笼箱),每笼箱分别各放入一只大小相近的已饥饿24 h的拟环纹豹蛛雌成蛛,对每种农药的每一浓度梯度共设5个密度处理,即在每组的5个笼箱内分别放20、35、50、65、80只褐飞虱成虫(长翅型),然后用喷雾器分别向笼箱内的禾叶上喷洒相应浓度的农药,喷雾量为每100丛禾约40 mL 海个密度处理设5个重复,并设对照(设置同上,不施任何农药)。实验条件为室外自然状态,24 h后分别记录被捕食(包括被咬死)的飞虱数及自然死亡的飞虱数。

1.4 数据处理公式

1)功能反应:用Holling Ⅱ型圆盘方程(Holling, 1959a, 1959b)拟合:

$$Na = aNT/(1 + T_h aN) \quad (1)$$

式(1)中:N = 猎物密度;Na = 被捕食的猎物数量;

T = 捕食者可利用发现猎物的时间；a = 瞬间攻击率；T_h = 对一头猎物的处置时间。

将 Holling 方程线性后用最小二乘法求解 a、T_h 的值（丁岩钦，1980），拟合效果用 F 和 χ^2 检验。

2）寻找效应估计（马骁等，1996）：

$$S = a/(1 + aT_hN) \quad (2)$$

式（2）中，S 为寻找效应，其他同公式（1）。

1.5　行为观察

仿照娄永根和程家安（1996）的方法，并稍作改进。取两端开口、中间有通气孔（Φ 2.5 cm）的玻璃管（Φ 5 cm×40 cm）4 支，并编号，每管放 1 根秆高约 28 cm的稻苗，两端管口扎 60 目尼龙纱，然后将玻璃管竖放在盛有少量水稻营养液的玻璃缸中。以记号笔给管的高度标上刻度（mm）。同时，用一张大的白纸描下整株稻苗，以备记载拟环纹豹蛛的搜寻行为。通过玻璃管中间的通气孔在稻苗中部接入 20 头短翅褐飞虱成虫和 1 头已饥饿 24 h 的拟环纹豹蛛雌成蛛，1 号管接入的蛛、虫均是未喷过农药的，2、3、4 号管依次接入经 3 种农药的最适浓度处理过 2 h 的蛛、虫。所使用的 50% 甲胺磷乳油、18% 杀虫双水剂和 0.03% 烯丙菊酯的最适浓度是药与水的体积比分别为 2∶5 000，12∶5 000 和 1∶20。农药处理方法为：用 3 盆有圆形尼龙窗纱网罩罩上的 3 盆水稻分为 3 组，每组 1 盆，然后用 MC-D2 型微型喷雾器在每组的水稻苗上喷 1 种最适低剂量的农药，喷药量为每 100 丛禾 40 mL 药液，然后在每组的水稻苗上接入若干短翅褐飞虱成虫；另取 3 个 200 mL 的烧杯也分为 3 组，每组 1 个，在每个烧杯中均放 1 只大小基本一致的拟环纹豹蛛雌成蛛，然后用微量取样器取0.12 μL 的最适低剂量农药滴在蜘蛛的背甲上，每组对应一种农药，以防蜘蛛逃逸，烧杯用纱布和橡皮筋封口，2 h 后进行捕食行为观察实验。让接入管内的蜘蛛取食 1 h 后，观察其搜寻行为，每 10 s 取一停点，用秒表记时均重复 10 次。经计算求得各停点间的直线距离和摄食点到各停点间的直线距离，计算分析施药与未施药情况下搜索距离变化、搜索领域范围变化和在稻株上各部位滞留时间的差异变化等。

2　结果与分析

2.1　拟环纹豹蛛雌成蛛捕食功能反应

在不同的低剂量农药梯度作用下拟环纹豹蛛对褐飞虱成虫的捕食功能反应见图 1。在无农药刺激时，拟环纹豹蛛的捕食量随着猎物密度的增加而增加，当密度较低时（20～50 头），增加的速度较快；密度较高时（65～80 头），增加的速度较慢。但在不同低剂量农药作用下，拟环纹豹蛛的捕食量差异变化明显。当施用低剂量甲胺磷时，拟环纹豹蛛的捕食量随猎物密度的增加幅度以施用 2∶5 000 梯度的农药时最大，且与未施农药的情况相比较，其捕食量明显增加，但在 4∶5 000、6∶5 000 和 8∶5 000 梯度的甲胺磷溶液作用下，拟环纹豹蛛的捕食量明显低于未施农药的情形（图 1：A）；当施用低剂量杀虫双农药时，在 8∶5 000 至 14∶5 000 梯度范围内，拟环纹豹蛛的捕食量均高于未施药的情形，但在较高剂量梯度（28∶5 000）的杀虫双药液作用下，拟环纹豹蛛的控虫效能明显低于未施药时的情形（图 1：B）；当施用低剂量的烯丙菊酯时，1∶20 和 2∶20 这两个梯度的农药对拟环纹豹蛛的活力增强较大，尤以在 1∶20 这个梯度下增幅最为明显，4∶20 和 6∶20 梯度的农药抑制了拟环纹豹蛛的活力，且以 6∶20 梯度农药的作用下，拟环纹豹蛛控虫效能的下降最为明显（图 1：C）。

根据公式（1）计算得到各浓度条件下拟环纹豹蛛捕食褐飞虱成虫的功能反应方程及其参数见表 1。$1/Na$ 与 $1/N$ 的相关系数 r 表明在各农药梯度下捕食量与猎物密度显著相关，卡方检验 $\chi^2 < \chi^2_{(0.005,4)}$ （= 14.86），$P < 0.005$（$P_{(0.005,3)} = 0.974$），表明理论值与观察值比较吻合，Holling Ⅱ 功能模型较好的描述了在低剂量农药作用下拟环纹豹蛛对褐飞虱成虫的捕食功能效应。从表 1 可看出，处理 1 头飞虱所需时间（T_h）以最适低剂量农药作用下的最短，如施用 2∶5000 的甲胺磷、12∶5000 的杀虫双或 1∶20 的烯丙菊酯时，处理 1 头飞虱所需时间分别为 0.0089 天、0.0063 天和 0.0068 天，比未施农药情况下的0.0196 天均短，但在较高剂量农药作用下处理 1 头飞虱所需时间明显增长，如施用 8∶5000 的甲胺磷，28∶5000 的杀虫双和 6∶20 的烯丙菊酯时，其处理 1 头飞虱所需时间依次是其相应最适剂量农药作用下的 9.70、13.60 和 13.62 倍，是正常未施药情况下的 4.40、4.37 和 4.72 倍。

2.2　寻找效应估计

根据方程（2）以及表 1 中的参数值，可得拟环纹豹蛛在不同的低剂量农药作用下的寻找效应 S（图 2）。同一浓度的低剂量农药作用下拟环纹豹蛛寻找效应 S 是随着猎物密度 N 的增加而降低。在猎物密度相同时，拟环纹豹蛛的寻找效应在不同低剂量浓度农药的作用下有较大的差异，特别是在 2∶5 000

的甲胺磷(图2:A)、12:5 000的杀虫双(图2:B)或1:20的烯丙菊酯(图2:C)作用下,其寻找效应比在其他浓度农药刺激下或未施药的情况下显著偏高;在8:5 000甲胺磷(图2:A)、28:5 000的杀虫双(图2:B)或6:20的烯丙菊酯(图2:C)作用下,其寻找效应远比其他条件下的低。

表1 不同低剂量浓度农药作用下拟环纹豹蛛的捕食功能反应

Table 1 Functional responses of *Pardosa pseudoannulata* predation under low-dose pesticides

药剂 Pesticides	浓度 Concentration	$1/Na$	r	T_h	a	χ^2
无农药 No pesticides	0	0.0196 + 1.6918/N	0.9930	0.0196	0.5911	0.5011
甲胺磷 Methamidophos	2:5000	0.0089 + 1.0959/N	0.9986	0.0089*	0.9125**	0.2306
	4:5000	0.0218 + 1.8515/N	0.9902	0.0218	0.5401	0.4157
	6:5000	0.0379 + 2.3736/N	0.9950	0.0379*	0.4213*	0.2932
	8:5000	0.0863 + 3.1959/N	0.9932	0.0863**	0.3129**	0.3983
杀虫双 Dimehypo	8:5000	0.0171 + 1.6095/N	0.9786	0.0171	0.6213	0.3047
	10:5000	0.0098 + 1.3780/N	0.9912	0.0098*	0.7257*	0.4976
	12:5000	0.0063 + 1.0131/N	0.9960	0.0063**	0.9875**	0.4371
	14:5000	0.0125 + 1.2902/N	0.9882	0.0125*	0.7751*	0.5035
	28:5000	0.0857 + 4.6340/N	0.9656	0.0857*	0.2158*	0.4782
烯丙菊酯 *d*-allethrin	1:20	0.0068 + 1.0243/N	0.9768	0.0068**	0.9762**	0.4021
	2:20	0.0097 + 1.2120/N	0.9872	0.0097*	0.8251**	0.3769
	4:20	0.0214 + 1.9372/N	0.9665	0.0214	0.5162	0.5136
	6:20	0.0926 + 2.5211/N	0.9920	0.0926*	0.3966*	0.4785

注:与无农药处理组比较,* 表示差异显著($P<0.05$);** 表示差异极显著($P<0.01$)。

Note: * and ** indicate difference and significant difference between treatment group and control group (without pesticide) at $P<0.05$ level and $P<0.01$ level, respectively.

2.3 拟环纹豹蛛在稻株上的搜寻行为

行为观察(表2,3)表明,在未施药的情况下,拟环纹豹蛛在稻株上部的滞留时间和搜寻距离明显的短于或小于其在稻株下部的滞留时间和搜寻距离,但在各合适的低剂量农药处理下,拟环纹豹蛛在稻株中上部的滞留时间和搜索距离明显的长于或大于未施药时的情形。在各处理间,拟环纹豹蛛在稻株各部位间搜索距离的差异均达显著或极显著水平,这说明拟环纹豹蛛在稻株上的搜寻行为属非随机搜索型。经3种最适低剂量农药处理后的搜寻行为在稻株上具有一致性,但它们与未施药的情形相比,其搜寻行为存在较大差异,即经低剂量农药处理后,拟环纹豹蛛在稻株上部的滞留时间和稻株上总的以及各部位上的搜寻距离显著的长于或大于其在无农药处理下的滞留时间和搜寻距离,但在总体上不改变其主要在稻株中下部活动的结果表明,拟环纹豹蛛的搜寻行为主要受褐飞虱大多分布在稻株的中下部影响,这再次证明了稻田蜘蛛对目标害虫的伴随性(Wang and Kim, 2002; Wang *et al*., 2004)。

表2 拟环纹豹蛛在稻株各部位上的滞留时间

Table 2 Staying-time of *Pardosa pseudoannulata* on different parts of rice plant

处理 Treatment	滞留时间 Staying-time (min) 上部 Upper part	中部 Middle part	下部 Lower part	总滞留时间 Total staying-time (min)
无农药 No pesticides	3.25 ± 0.78 B	12.78 ± 2.16 B	28.16 ± 8.12 B	44.19 ± 10.36 B
2:5000 甲胺磷 Methamidophos	9.68 ± 2.05 A	19.85 ± 5.28 A	39.24 ± 13.22 A	68.77 ± 16.52 A
12:5000 杀虫双 Dimehypo	10.05 ± 2.72 A	18.92 ± 4.92 A	36.67 ± 11.58 A	65.64 ± 13.67 A
1:20 烯丙菊酯 *d*-allethrin	8.57 ± 1.98 A	21.32 ± 6.81 A	35.58 ± 12.11 A	65.47 ± 15.21 A

注:同一列字母相同者表示差异不显著(Duncan's 新复极差法,$P>0.01$)。下同。

Note: Data in a column with the same letters are not significantly different at $P>0.01$ by Duncan's multiple range test. The same below.

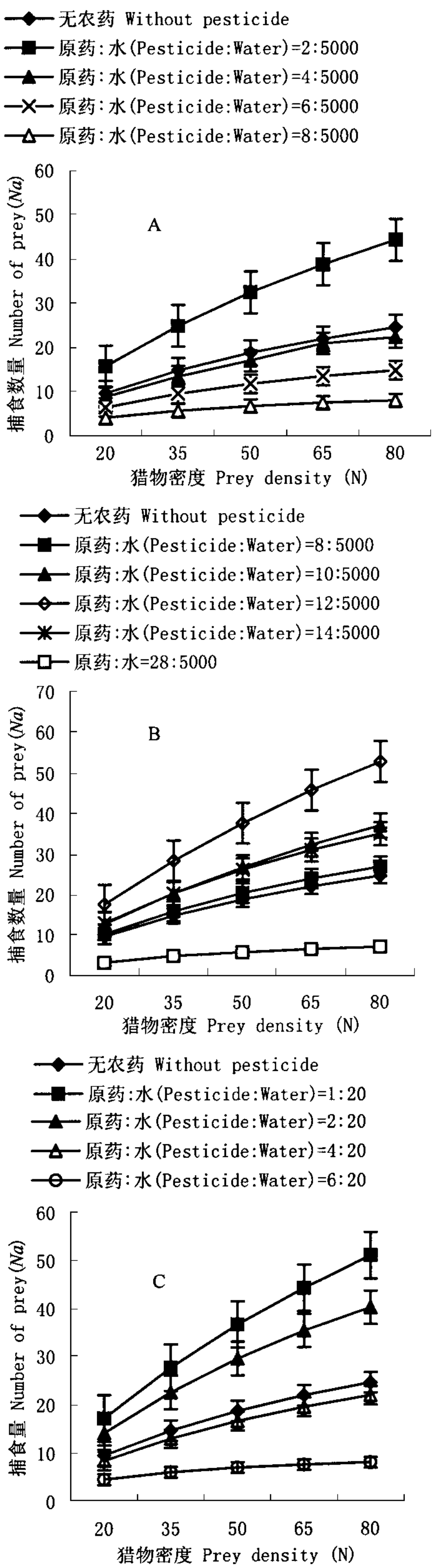


图 1　不同梯度低剂量农药作用下拟环纹豹蛛的捕食功能的反应

Fig. 1　Functional responses of *Pardosa pseudoannulata* predation under low-dose pesticides of different concentrations

A：甲胺磷 Methamidophos；B：杀虫双 Dimehypo；C：烯丙菊酯 *d*-allethrin. 下同 The same below.

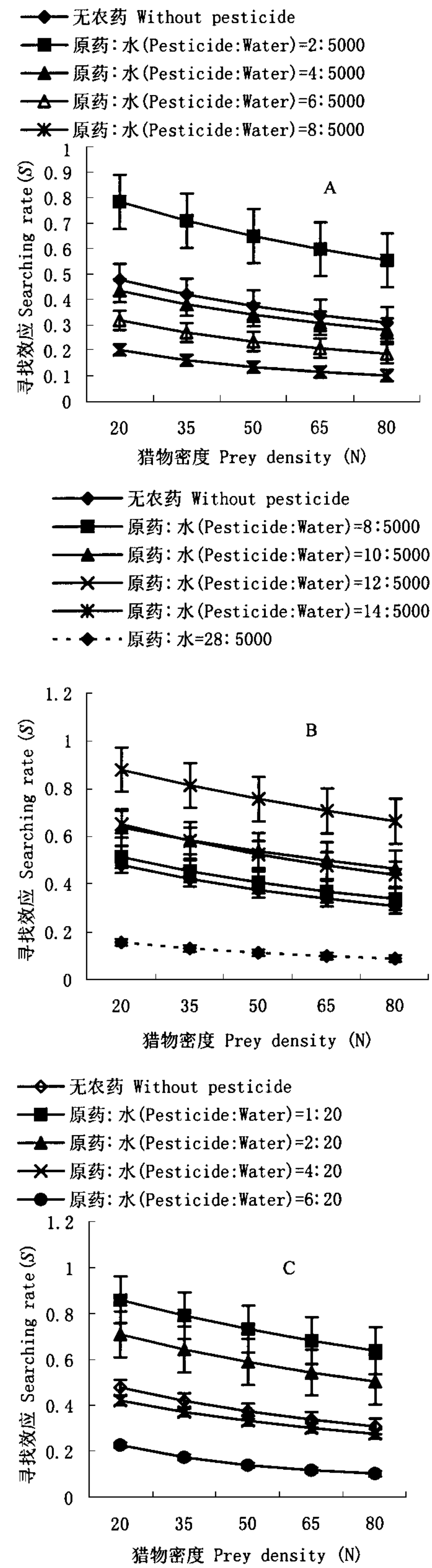


图 2　不同梯度低剂量农药作用下拟环纹豹蛛寻找效应与猎物密度的关系

Fig. 2　Relationship between the searching rate and prey density of *Pardosa pseudoannulata* under low-dose pesticides of different concentrations

表 3 拟环纹豹蛛在稻株各部位上的搜寻距离

Table 3 Searching distance of *Pardosa pseudoannulata* on different parts of rice plant

处理 Treatment	搜寻距离 Searching distance (cm)			总搜寻距离 Total searching distance (cm)
	上部 Upper part	中部 Middle part	下部 Lower part	
无农药 No pesticides	1.28 ± 0.56 B	8.85 ± 1.15 B	35.68 ± 7.85 A	45.81 ± 9.13 B
2:5000 甲胺磷 Methamidophos	6.67 ± 2.69 A	17.26 ± 4. 82 A	38.22 ± 9.36 A	62.15 ± 11.52 A
12:5000 杀虫双 Dimehypo	8.32 ± 9.37 A	19.08 ± 5.21 A	37.76 ± 11.23 A	65.16 ± 12.97 A
1:20 烯丙菊酯 *d*-allethrin	6.92 ± 3.21 A	17.62 ± 5.04 A	39.31 ± 13.59 A	63.85 ± 15.03 A

3 讨论

无论有无农药处理,拟环纹豹蛛在稻株上属非随机搜索型。拟环纹豹蛛有偏向于稻株中、下部活动的习性,这可能与飞虱主要集中于中、下部有关,这也验证了 Hassell (1982) 提出的天敌对猎物的聚集反应假说。施用低剂量农药之后的蜘蛛在稻株上的滞留时间和活动范围明显增强,尤其在稻株上部的活动明显增加,这有利于其控制水稻叶面害虫。其原因主要是低剂量甲胺磷农药导致乙酰胆碱酯酶活性降低,乙酰胆碱酯酶对神经递质乙酰胆碱的分解作用下降,蜘蛛的兴奋性增加所致(另文发表),或者可能象其他昆虫一样,低剂量的杀虫双,烯丙菊酯等杀虫剂可能激活了蜘蛛细胞膜上潜在的离子通道蛋白活性,加强了其神经系统的兴奋性(Lund, 1985;Soderlund, 1989;Oppenoorth, 1995)。

在华中双单季稻稻作区中,拟环纹豹蛛是稻田蜘蛛中的主要优势种群,是稻飞虱和稻叶蝉等水稻害虫的重要捕食性天敌(王洪全,1981;宋大祥,1987;Wang and Kim, 2002),拟环纹豹蛛对褐飞虱的捕食作用研究以往主要集中在对猎物密度和自身密度的反应(吴六徕和王洪全,1987),而在低剂量农药作用下对猎物的捕食作用及其对害虫的搜寻行为研究报道甚少。从拟环纹豹蛛的搜寻行为模式可清楚的解释其在有无低剂量农药作用下功能反应不同的原因。在受到最适的低剂量农药刺激时,拟环纹豹蛛在高密度褐飞虱处(即水稻中、下部)活动(滞留时间长),这样其有效的寻找时间大部分消耗在高密度的褐飞虱处,由此势必导致对褐飞虱的瞬时攻击率(a)升高;而无农药及有较高剂量农药刺激时,拟环纹豹蛛在稻株上的滞留时间短且搜寻范围窄,因此,其瞬间攻击率也就相应的低,这与徐建祥等(2000)报道的杀虫剂对残存天敌个体捕食功能的影响相似,即用高剂量农药处理后,天敌捕食褐飞虱的瞬间攻击率有不同程度的减少。处理猎物时间(Th)是指捕食者在遇到一个猎物时用于制服、取食等活动时所需的时间。从理论上讲,对相同的捕食者和猎物应有相同的处理时间。在本试验中,虽是大小相似的蜘蛛,但由于其处理方式不同,其在低剂量农药作用下,其处理时间明显短于未施药和施较高剂量农药情况下的时间,同时其在较高剂量农药情况下的处理时间长于未施药下的情形,其原因主要是由于低剂量的农药增强了消化酶的活性(另文发表),而高剂量的农药导致拟环纹豹蛛捕食功能减退率的增加(吴进才等,1997;徐建祥等,2000)。

农药对环境污染及对天敌杀害的副作用的论断已得到绝大多数人的认可,但低剂量农药的有益作用,即低剂量农药能提高蜘蛛等天敌对害虫的相对活力,能充分发掘蜘蛛等天敌的控虫潜能的研究较少,本文进一步验证了作者(2002)提出的低剂量农药能提高蜘蛛对害虫的相对活力的理论假设,也进一步证实并发展了 Hueppe 和 Smyth"有毒物质小剂量有益效应学说"的观点(Hayes, 1982;Tabashnik and Croft, 1982)。尽管甲胺磷、杀虫双等杀虫剂在近几年内可能被淘汰,但此项研究对将来其他相关新农药的开发与使用仍有方法和思路上的参考价值。

另外,本实验仅探讨了低剂量农药作用下拟环纹豹蛛对褐飞虱的功能反应及其搜寻行为,未考虑低剂量农药是否对褐飞虱等害虫产生抗性及刺激生殖的影响,并且也未考虑低剂量农药对蜘蛛本身的生殖及其他害虫天敌的影响,因此,有关这方面的理论真正应用于 IPM,还须进行长期的探索,这将对 IPM 的发展和应用提供新的理论依据,具较大的理论和实践意义。

致谢 湖南文理学院 2000 级本科生李竹林、钟新征、钟亮、马绪亮、刘茜、曹振华、李发茂和刘洪泉等同学在蜘蛛和害虫采集及调查等方面付出了辛勤劳动，在此表示感谢！

参 考 文 献（References）

Baveco JM，Deroos AM，1996. Assessing the impact of pesticides on lumbricid populations：an individual-based modeling approach. *Journal of Applied Ecology*，33：1 451 – 1 468.

Croft BA，Brown AWA，1975. Response of arthropod natural enemies to insecticides. *Annu. Rev. Entomol.*，20：285 – 336.

Cohen JE，Schoenly K，Heong KL，1994. A food web approach to evaluating the effect of insecticide saying on insect pest population dynamics in a Philippine irrigated rice ecosystem. *Journal of Applied Ecology*，31：747 – 763.

Ding YQ，1980. The Theory and Application of Insect Population Mathematics Ecology. Beijing：Science Press. 256 – 626. [丁岩钦，1980. 昆虫种群生态学的理论与应用. 北京：科学出版社. 256 – 626]

Hassell MP，1982. Patterns of parasitism by insect parasitoids patchy environments. *Ecological Entomology*，7：365 – 377.

Hayes WJ (Translated by Feng ZY *et al.*)，1982. Toxicology of Pesticides. Beijing：Chemical Industry Press. 57 – 134. [Hayes WJ 著(冯致英等主译)，1982. 农药毒理学. 北京：化学工业出版社. 57 – 134]

Holling CS，1959a. Some characteristics of simple type of predation and parasitism. *Can. Ent.*，91：385 – 398.

Holling CS，1959b. The components of predation as revealed by a study of small mammal predation of the European pine sawfly. *Can. Ent.*，91：293 – 320.

Hull LA，Starner VR，1983. Impact of four synthetic pyrethroids on major natural enemies and pests of apple in Pennsylvania. *Journal of Economic Entomology*，26：122 – 130.

Hu ZQ，Wang HQ，Lu ZY，2000. Killing capability of some pesticides on dominant species spiders in rice fields. *Acta Arachnologica Sinica*，9(2)：112 – 115. [胡自强，王洪全，吕志跃，2000. 几种化学农药对稻田优势种蜘蛛杀伤力的研究. 蛛形学报，9(2)：112 – 115]

Jiang YH，Wu JC，Xu JX，Liu JL，Qiu HM，Yang GQ，Wang HQ，2002. Influence of seasonal and daily changes of spatial niche of spiders in paddy field and two insecticides to spatial niche and predatory function. *Acta Ecologica Sinica*，22(8)：1 286 – 1 292. [姜永厚，吴进才，徐建祥，刘井兰，邱慧敏，杨国庆，王洪全，2002. 稻田蜘蛛生态位变化及杀虫剂对捕食功能的影响. 生态学报，22(8)：1 286 – 1 292]

Li GS，Xu JX，Wu JC，Wang JZ，Cheng JA，2000. Effects of herbicides on growth，development and predatory function of *Pirata subpiraticus*. *Jiangsu Agricultural Research*，21(4)：41 – 44. [李国生，徐建祥，吴进才，王建中，程家安，2000. 除草剂对拟水狼蛛生长发育及捕食功能的影响. 江苏农业研究，21(4)：41 – 44]

Lou YG，Cheng JA，1996. Functional responses of *Cyrtorhinus lividipennis* to eggs of brown planthopper，*Nilaparvata lugens*，and its searching behavior. *Acta Phytophylacica Sinica*，23(4)：321 – 326. [娄永根，程家安，1996. 黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵的功能反应及搜寻行为. 植物保护学报，23(4)：321 – 326]

Lund AE，1985. Insecticides：effects on the nervous system. In：Kerhut GA，Gilbert LI eds. Comprehensive Insect Physiology，Biochemistry and Pharmacology. Vol. 12. Oxford：Pergamon Press. 9 – 56.

Ma X，Wei DY，Zhao Q，1996. Studies on the predation of *Menochilus sexmaculata* (Fabricius) on *Toxoptera citricidus*. *Cultivation and Planting*，16(3)：55 – 57. [马晓，韦党扬，赵琦，1996. 六斑瓢虫对橘蚜捕食作用的研究. 耕作与栽培，16(3)：55 – 57]

Oppenoorth FJ，1995. Biochemistry and genetics of insecticide resistance. In：Kerhut GA，Gileert LI eds. Comprehensive Insect Phsiology，Biochemistry and Pharmacology. Vol. 12. Oxford：Pergamon Press. 731 – 774.

Sherratt TN，Jepson PC，1993. A metapopulation approach to modeling the long-term impact of pesticides on invertebrates. *Journal of Applied Ecology*，30：696 – 705.

Soderlund DM，1989. Molecular neurology：implications for insecticide action and resistance. *Pest Sci.*，26(4)：359 – 374.

Song DX，1987. Spiders of Farmland in China. Beijing：China Agriculture Press. 376 pp. [宋大祥，1987. 中国农田蜘蛛. 北京：农业出版社. 376 pp]

Tabashnik BE，Croft BA，1982. Managing pesticide resistance in crop-arthropod complexes：interactions between biological and operational factors. *Environmental Entomology*，11：1 137 – 1 144.

Wang HQ，1981. Study on Utilization of Paddyfield Spiders. Beijing：Scientific and Technical Documents Publishing House. 1 – 20. [王洪全，1981. 稻田蜘蛛利用研究. 北京：科学技术文献出版社. 1 – 20]

Wang Z，Kim JP，2002. Study on interaction of the diversity of rice field spider community and its objective pests occurring degree. *Korean Arachnol.*，18(1)：39 – 45.

Wang Z，Yuan ZM，Song DX，Zhu MS，2004. Analysis on the dynamics of spatial distribution pattern of mixed spider population in rice field. *Entomol. Sinica*，11(4)：257 – 265.

Wang Z，Yan HM，Wang HQ，2002. The influence of low-dose pesticides on the insect-control power of paddyfield spiders. *Acta Ecologica Sinica*，22(3)：346 – 351. [王智，颜亨梅，王洪全，2002. 低剂量农药对稻田蜘蛛控虫力的影响. 生态学报，22(3)：346 – 351]

Wright DJ，Verkert RHJ，1995. Integration of chemical and biological control systems forarthropods：Evaluation in amultitrophic context. *Pestic. Sci.*，44：207 – 218.

Wu JC，Xu JX，Li GS，Cheng XN，Yong DB，1997. Impact of several insecticides on the predation function of *Pirata subpiraticus*. *Acta Entomologica Sinica*，40(Suppl.)：165 – 171. [吴进才，徐建祥，李国生，程遐年，雍德本，2000. 几种杀虫剂对拟水狼蛛捕食功能的影响. 昆虫学报，40(增刊)：165 – 171]

Wu LL，Wang HQ，1987. Preliminary study on functional response and mathematical modeling of a predator：*Pirata subpiraticus* to its prey. *Chinese Journal of Biological Control*，3(1)：7 – 10. [吴六徕，王洪全，1987. 拟水狼蛛捕食功能反应及其数学模拟的初步研究. 生物防治通报，3(1)：7 – 10]

Xu JX，Wu JC，Cheng XN，Ji MS，Dai JQ，2000. The effects of two insecticides on predation function of predatory natural enemies. *Acta Ecologica Sinica*，20(1)：145 – 149. [徐建祥，吴进才，程遐年，嵇茂盛，戴建群，2000. 两种杀虫剂对稻田捕食性天敌集团捕食功能的影响. 生态学报，20(1)：145 – 149]

Zhu FX，Wang JX，Liu F，Mu W，Zhang X，1998. Studies on insecticide susceptibility of lady birds. *Acta Entomologica Sinica*，41(4)：359 – 365. [朱福兴，王金信，刘峰，慕卫，张新，1998. 瓢虫对杀虫剂的敏感性研究. 昆虫学报，41(4)：359 – 365]

（责任编辑：袁德成）